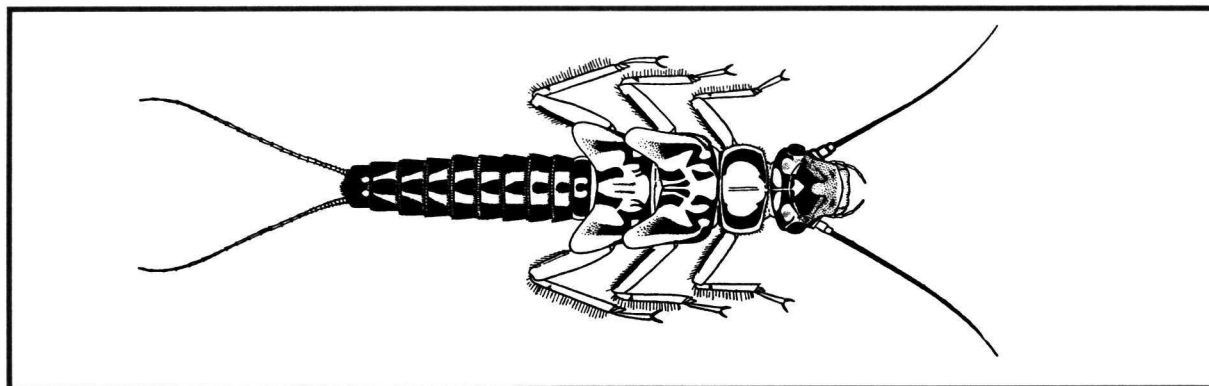


Traitement statistique des données hydrobiologiques acquises en Valais entre 1990 et 1997

par Régine Bernard¹

Bull. Murithienne 119: 7-19



Bulletin de la
Murithienne

119 • 2001
Page 7

Illustration de la couverture – *Isoperla rivulorum*. – DESSIN MARC BERNARD

ZUSAMMENFASSUNG

Statistische Bearbeitung der hydrobiologischen Daten, die im Wallis zwischen 1990 und 1997 erfasst worden sind

Seit 1990 führt die Dienststelle für Umweltschutz des Kantons Wallis Studien durch, um die Qualität der Wasserläufe namentlich mit Hilfe biologischer Angaben zu erfahren, die sich auf den benthischen Faunabestand stützt. Als die Anzahl Ergebnisse beträchtlich genug war, wollte sie die statistische Analyse dieser hydrobiologischen Daten vornehmen. Die gesteckten Ziele waren namentlich, die Zuverlässigkeit der angewandten Methode (IBG und IBGN) in den Walliser Bächen zu testen, die entscheidenden Parameter in der Aufteilung der Familien herauszuschälen und eventuell künftiger Studien eine Orientierung zu geben. Die statistische Analyse und ihre Interpretation sind das Ergebnis einer Zusammenarbeit zwischen einem Statistiker (Sylvain DOLÉDEC, Dozent an der Universität Claude BERNARD von Lyon) und einem spezialisierten Büro für Hydrobiologie (ETEC in Bramois), die beide von der Dienststelle für Umweltschutz des Kantons Wallis beauftragt wurden.

RESUMÉ

Traitement statistique des données hydrobiologiques acquises en Valais entre 1990 et 1997

Depuis 1990, le Service de la protection de l'environnement du canton du Valais mène des études pour connaître la qualité des cours d'eau, notamment à l'aide d'indices biologiques basés sur le peuplement benthique. Lorsque le nombre de résultats a été suffisamment important, il a voulu procéder à l'analyse statistique de ces données hydrobiologiques. Les buts visés étaient, entre autres, de tester la fiabilité de la méthode utilisée (IBG puis IBGN) vis-à-vis des rivières valaisannes, de dégager les paramètres déterminants dans la distribution des familles, d'orienter éventuellement les futures études. L'analyse statistique et son interprétation sont le résultat d'une collaboration entre un statisticien (Sylvain DOLÉDEC, Maître de Conférence à l'Université Claude BERNARD de Lyon) et un bureau spécialisé en hydrobiologie (ETEC à Bramois), tous deux mandatés par le service de la protection de l'environnement du canton du Valais.

Abréviations

- ACP = Analyse en Composante Principale
- DOC = Carbone organique dissous
- IBG = Indice Biologique Global
- IBGN = Indice Biologique Global Normalisé
- STEP = Station d'épuration
- TOC = Carbone organique total

¹ Bureau Etec, place de la Cure, 1967 Bramois.

Mots clés: Rivières, hydrobiologie, statistique, indice biologique, IBGN, benthos, Valais

INTRODUCTION

Cadre de l'étude

Il y a une quinzaine d'années, les rivières alpines valaisannes étaient méconnues et aucune base de données «hydrobiologiques» n'existait. Pour parer à cette lacune, depuis 1990, le Service de la protection de l'environnement du Canton du Valais confie chaque année des mandats d'étude sur un certain nombre de rivières valaisannes à des bureaux spécialisés dans le domaine. Les analyses se basent sur la physico-chimie des eaux, le débit et la qualité biologique du milieu² (ETEC, 1991 à 1997; PRONAT, 1995 à 1997). Sont ainsi disponibles :

- l'état des stations qualifiées par les relevés morphodynamiques et environnementaux;
- des résultats d'analyses physico-chimiques et des relevés de débit;
- des indices biologiques donnés par la faune benthique (IBG, puis IBGN à partir de 1993).

L'interprétation des indices biologiques permettant d'établir les diagnostics de qualité se basait d'une part sur les éléments fournis par la bibliographie, d'autre part sur l'expérience des hydrobiologistes, leur propres observations et hypothèses.

Avec 142 stations étudiées sur une vingtaine de cours d'eau (1990 à 1997, résultats sur **figure 1**), le SPE a souhaité effectuer en 1999 un traitement statistique pour :

- qualifier l'état des stations par les relevés morphodynamiques et environnementaux;
- approfondir l'interprétation des résultats faunistiques au vu des conditions physico-chimiques et morphodynamiques;
- dégager des similitudes;
- reconnaître les paramètres déterminants dans la distribution de certaines familles de macro-invertébrés benthiques;
- tirer des conclusions et orienter la poursuite des études.

Le mandat de ce traitement statistique a été attribué au bureau ETEC, qui a fourni les matrices de base complètes, participé à l'interprétation des résultats et élaboré le rapport de synthèse; Sylvain DOLÉDEC, Maître de Conférence à l'Université Claude BERNARD de Lyon, en tant qu'expert a effectué le traitement statistique; il est l'auteur du rapport d'expertise. Les deux mandataires ont étroitement collaboré pour chaque phase de l'étude (établissement et contrôle des matrices, codification des paramètres, interprétation des résultats, élaboration des documents).

Cet article établit la synthèse de la démarche et présente les résultats sans entrer dans le détail du traitement statistique (DOLÉDEC, 2000).

La méthode «IBGN»

La méthode retenue pour l'analyse de la qualité biologique des cours d'eau du Canton du Valais est celle de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN). Cette mé-

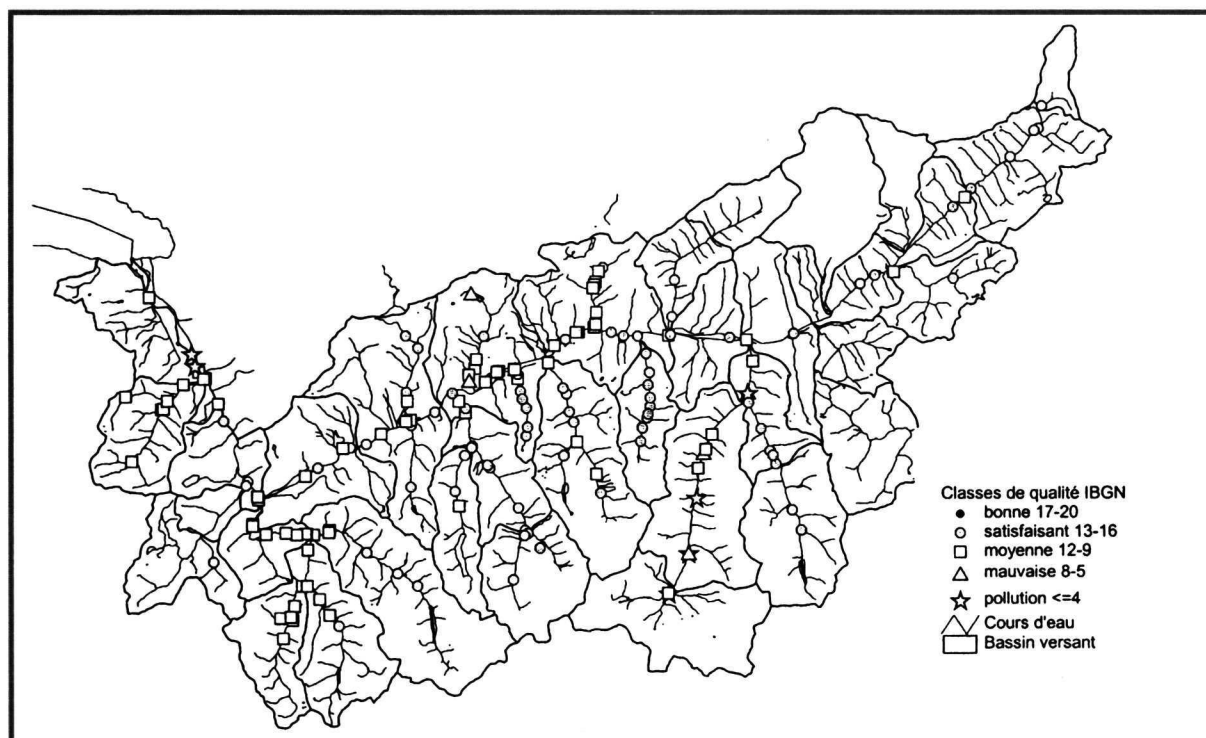


Figure 1 – Observation biologiques des cours d'eaux du canton du Valais; résultats des IBG/IBGN.

thode a été largement testée, puis validée et homologuée en France en tant que norme AFNOR³ (NF T90-350), en décembre 1992. Les études réalisées avant 1993 utilisaient l'IBG qui était alors la méthode «à l'essai». Pour l'homologation définitive, certains critères ont dû être adaptés, en particulier l'ordre de prélèvement des substrats et le calcul de la note (modification de la sensibilité de certains groupes et du nombre d'individus). Il est toutefois aisé de convertir les notes IBG en IBGN. C'est la raison pour laquelle tous les résultats ont pu être gardés pour cette analyse statistique.

Elle prend en compte toute la problématique des mosaïques d'habitats (combinaison des substrats et des vitesses), paramètres soupçonnés comme prépondérants pour les cours d'eau. En effet, la nature et la qualité des substrats du fond déterminent la diversité et l'abondance des macro-invertébrés benthiques; ceux-ci dépendent très fortement de la capacité «biogénique» (aptitude à héberger une faune abondante et diversifiée) de ces substrats. La structure et l'état des fonds sont d'ailleurs relevés lors des prélèvements de faune benthique.

Sur chaque station, l'échantillonnage se compose de 8 prélèvements de 1/20 m², soit une superficie totale de 0.4 m², dans tous les types de substrat représentés (bryophytes, litières, galets, graviers, vases, dalles, etc.) et de vitesse (soit 5 classes entre moins de 5 cm/s et plus de 150 cm/s). Le protocole directeur de la méthode doit parfois être adapté aux conditions propres de chaque station (si par exemple une station ne possède ni bryophytes, ni litières, d'autres substrats présents seront alors prospectés deux fois).

Les organismes échantillonnés sont conservés dans du formol à 10 %, triés et déterminés en général jusqu'à la famille, qui constitue la limite de détermination de cette méthode (taxon). Pour chacune des stations est établie une liste faunistique des macro-invertébrés benthiques, principalement des larves d'insectes pétricoles (qui vivent sur les pierres) ou fouisseuses, appartenant aux ordres des Plécoptères, Ephéméroptères, Trichoptères, Diptères, caractéristiques des cours d'eau de montagne.

Le calcul de l'IBGN se fonde:

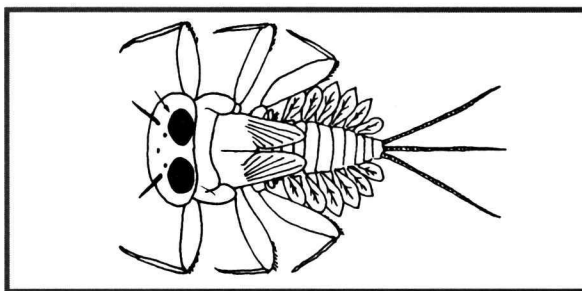
- sur le Groupe Indicateur (GI); les taxons sont organisés en 9 classes selon leur sensibilité aux différents paramètres de qualité d'un cours d'eau (eau et lit); la classe 9, la plus élevée, est constituée des taxons les plus exigeants, donc les plus sensibles à la qualité du milieu;
- sur la diversité taxonomique (nombre de taxons) comptabilisée dans la liste faunistique.
- La note ainsi obtenue, comprise entre 1 et 20 (mini-

mum et maximum), donne une appréciation de la qualité biologique globale de la station. Elle intègre les paramètres abiotiques (diversité des substrats, vitesse du courant, physico-chimie des eaux, débit, etc.) et biotiques (faune benthique, niveau trophique, etc.). La méthode IBGN permet d'obtenir une note rapide de qualité du milieu aquatique qui fait office de valeur de référence dans le temps. Une interprétation plus poussée des listes faunistiques est toutefois nécessaire pour cerner les atteintes éventuelles.

Hypothèses et questions à vérifier

Des questions et hypothèses au sujet de la faune benthique ont donc été formulées clairement pour que le traitement statistique puisse éventuellement y apporter des éléments de réponse:

1. l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) est-il une méthode fiable d'évaluation de la qualité biologique de la station étudiée?



Heptageniidae – Dessin tiré de la clé de détermination publiée par l'Université de Lyon.

2. l'abondance (dénombrement des individus) apporte-t-elle une information complémentaire?
3. l'IBGN serait-il influencé par la saison?
4. la biogénicité des substrats des rivières de montagne concorde-t-elle avec la capacité d'accueil potentielle donnée par la méthode IBGN
5. quel paramètre serait responsable de la raréfaction des *Perlidae* et *Chloroperlidae*? (Hypothèse: effet des purges)⁴;
6. la distribution de *Chloroperlidae* pourrait être influencée par la pente (cette famille préférerait les secteurs moins pentus) et la présence de végétation riveraine (et de litières);
7. la régression des *Perlidae*⁵ proviendrait de l'altération de la qualité des eaux (eaux usées non épurées et rejets de STEP), aggravée par la réduction des débits (captages);

² La faune aquatique, de part ses exigences écologiques, va être indicatrice de la qualité du milieu. En intégrant l'ensemble des paramètres dans le temps, elle apporte des indications intéressantes dans l'interprétation des analyses physiques et chimiques qui sont des «clichés ponctuels».

³ AFNOR = Association française de Normalisation.

⁴ JACQUES AUBERT (1984) signale que *Dinocras cephalotes* a peut-être disparu des eaux courantes valaisannes, que *Perla grandis* se rencontre ça et là, que *Siphonoperla montana* est une espèce alpine commune et que *Chloroperla suzemiichi* est une espèce très commune; depuis 1999, *Perlidae* et *Chloroperlidae* ne sont que très rarement recensées dans les échantillons de faune benthique.

⁵ JACQUES AUBERT (op. cité) mentionne plusieurs espèces (*Perla intricata*, *Dictyogenus alpinus*, *D. fontium*, *Isoperla rivulorum*) comme étant très communes, communes ou assez communes; actuellement, cette famille est peu fréquente.

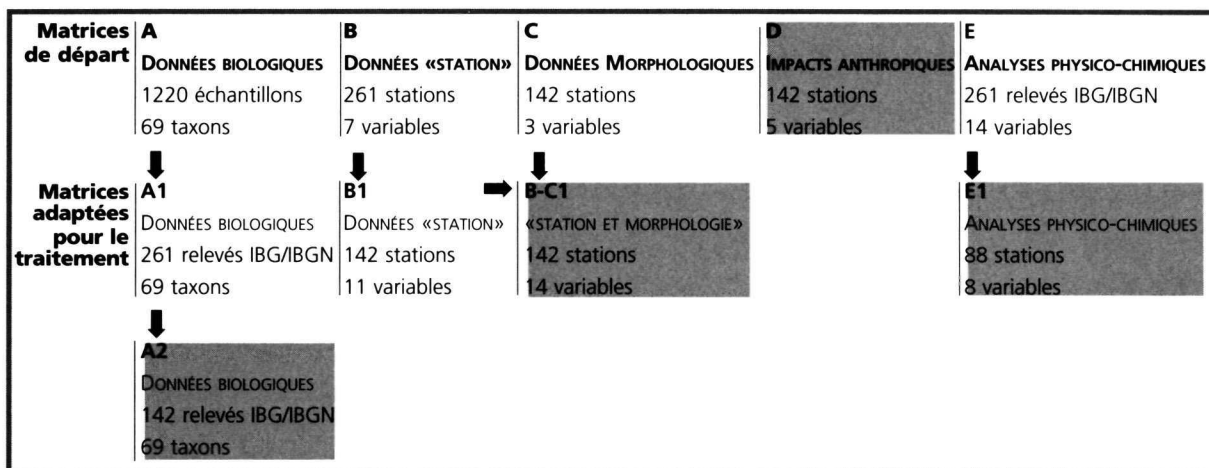


Figure 2 – Matrices utilisées pour le traitement statistique (A, B, C, D, E: matrices de base; les autres matrices sont celles transformées en vu du traitement; en grisé: matrices ayant servies au traitement).

8. les *Taeniopterygidae* sont plus abondants en automne du fait de leur émergence printanière;
9. comme le mentionne la littérature, les *Capniidae* semblent être corrélés avec la largeur de la rivière;
10. les *Nemouridae* se développent mieux dans les litières (et sans doute la matière organique sans excès);
11. les *Heptageniidae* colonisent de préférence les rivières plus pentues;
12. le développement des *Rhyacophilidae* (famille prédatrice) reflète l'abondance du peuplement;
13. la prolifération des *Limnephilidae* est induite par le marnage (les individus résistent bien à l'exondation temporaire); ils ne seraient pas sensibles au colmatage;
14. la diversité taxonomique augmente en automne (effet de la végétation riveraine?).

Avec le jeu de données qui existait, il était intéressant de pouvoir valider ou réfuter ces hypothèses par le biais d'un traitement statistique. L'interprétation des résultats permettra de reprendre ces hypothèses, d'y répondre, de dégager certains conseils pour les études ultérieures.

Méthodologie utilisée pour le traitement statistique

Seul un bref résumé de ce qui a été développé dans le rapport d'expertise est repris. Les extraits du document initial apparaissent entre guillemets (DOLÉDEC, 2000).

Cinq matrices de base ont été fournies par le bureau ETEC (A, B, C, D, E sur la figure 2). Certaines pouvaient être utilisées telle qu'elles. Il était par contre difficile de les confronter, car elles comportaient à la fois des variables quantitatives, semi-quantitatives et qualitatives.

A titre d'exemple, le paramètre «couverture végétale» comportait cinq valeurs sans véritable relation. Elles ont dû chacune être distinguées et transformées en cinq variables. Le nombre de cas de figure est alors multiplié et la variable de départ perd de son poids.

Les matrices semi-quantitatives et qualitatives ont donc été adaptées pour que les jeux de données soient homogènes et comparables (A1, A2, B1, B-C1, E1 sur la figure 2): le traitement a alors été effectué sur quatre matrices finales, en grisé sur la figure 2.

- A2: données biologiques;
- B-C1: données caractérisant la station à l'aide de 14 variables, à savoir, largeur du lit, granulométrie, état des substrats, développement de la couverture végétale et type (bryophytes, diatomées, algues, bactérie ou aucun développement), pourcentage de recouvrement par des algues, présence de végétation riveraine, ensoleillement, altitude, pente, distance à la confluence;
- D: impact anthropiques définis au travers de cinq variables (aménagement hydraulique, rejet d'eau usées ou de STEP, débit résiduel, restitution par une usine hydroélectrique en amont, purges);
- E1: résultats de 8 paramètres physico-chimiques qui permettent d'estimer le degré de pollution d'origine organique, le plus souvent liée aux activités humaines (conductivité, pH, carbone organique dissous ou DOC, carbone organique total ou TOC, azote sous forme d'ions ammonium NH_4^+ , nitrates, NO_3^- , orthophosphates ou PO_4^{3-} , phosphore total ou Ptotal).

L'adaptation des matrices en vue du traitement statistique amène déjà une première recommandation.

• Recommandation 1: codage quantitatif

Pour éviter d'effectuer un traitement statistique sur des données qualitatives et devoir distinguer chaque valeur, il est préférable d'attribuer un «codage quantitatif»: la variable possède un score pour chaque valeur, par rapport à un 100 % (pour la couverture végétale, on aurait pu utiliser un taux de recouvrement par exemple).

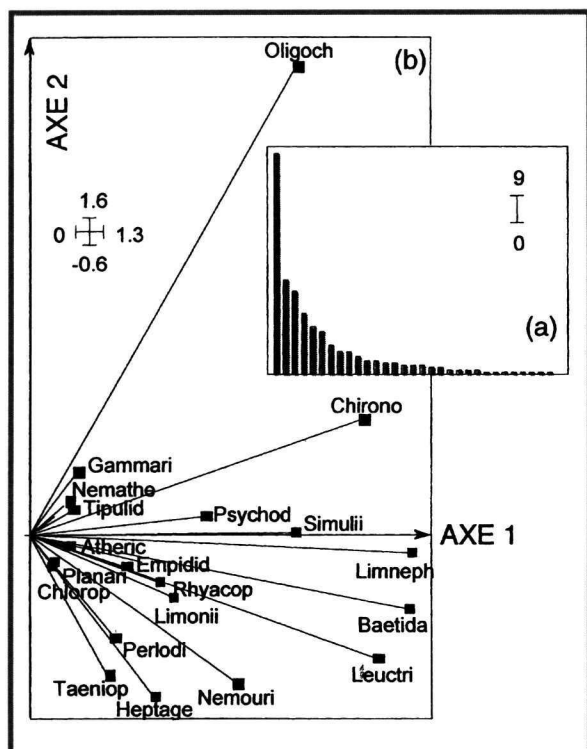


Figure 3 – (b) Position des taxons résultant d'une ACP de la matrice A; seuls les taxons les plus contributifs sont représentés.

«L'approche méthodologique a été centrée sur l'analyse des données (ou statistique exploratoire multidimensionnelle). Il s'agit d'étudier globalement les caractéristiques des données, de rechercher la structure de ces données, c'est-à-dire de faire apparaître des groupes homogènes, des types ou des gradients. Cette approche multi-factorielle permet de déterminer le ou les facteurs responsables des changements observés dans le système étudié.

Les progrès logiciels et la mise à disposition d'outils graphiques ont rendu les méthodes factorielles plus faciles d'utilisation. La majeure partie des représentations graphiques du rapport d'expertise a été réalisée à partir du logiciel développé par THIOULOUSE *et al.* (1997).

L'analyse en composantes principales (ACP) a été le principal outil d'analyse multivariée utilisé pour la description des matrices.» (DOLÉDEC, 2000).

RÉSULTATS

Analyse faunistique

Une première analyse a permis de faire apparaître sur des graphiques, les taxons les plus contributifs parmi les 69 recensés. Au nombre d'une vingtaine, ce sont eux qui distinguent le mieux les stations, car les autres sont souvent peu représentés.

Question 1: la méthode utilisée (IBGN) est-elle fiable dans le cas des données du Valais ?

Trois analyses ont été testées, portant sur trois types de renseignements: relevés faunistiques, résultats IBG/IBGN et stations.

L'ACP faite sur les **relevés de faune benthique** caractérise la diversité (au sens de richesse taxonomique) en séparant les relevés diversifiés, des relevés plus pauvres. Elle place ensuite les taxons selon leur polluosensibilité. Oligochètes et *Chironomidae* s'opposent en nombre d'espèces aux *Nemouridae*, *Taeniopterigyidae* et *Heptageniidae* (cf. figure 3). La longueur des flèches correspond au «poids» des taxons.

L'ACP faite sur les **résultats IBG/IBGN** désigne une structure sensiblement équivalente à la précédente. Elle confirme l'effet taille (diversité des taxons), puis la polluosensibilité des **taxons** (cf. figure 4).

L'ACP faite sur les **stations** sépare à nouveau les stations les plus riches en faune benthique, des plus pauvres et distingue les stations en fonction de la polluosensibilité

Substrats	Nbre de stations	Nbre d'échantillons	Abondance	Richesse	Diversité intra-microhabitat
BRYOPHYTES	24	36	674.4 (± 566.2)	9.3 (± 3.3)	31.9
LITIÈRES	71	105	572.5 (± 1066.6)	8.6 (± 3.9)	28.9
CAILLOUX/GALETs	103	302	247.6 (± 354.4)	7.6 (± 3.7)	24.5
GRAVIERS	101	204	212.0 (± 398.4)	6.2 (± 3.2)	21.2
VASES	72	104	245.5 (± 348.3)	5.7 (± 2.8)	17.1
SABLES	96	173	125.2 (± 279.8)	5.1 (± 3.0)	14.6
DALLES/BLOCS	103	202	121.8 (± 237.1)	4.4 (± 2.9)	13.8
ALGUES	15	15	402.1 (± 616.3)	6.5 (± 2.4)	15.4

Tableau 1 – Nombre d'individus moyens (Abondance), richesse taxonomique moyenne (Richesse) et diversité intra-microhabitat (Diversité) des distributions faunistiques pour chaque substrat.

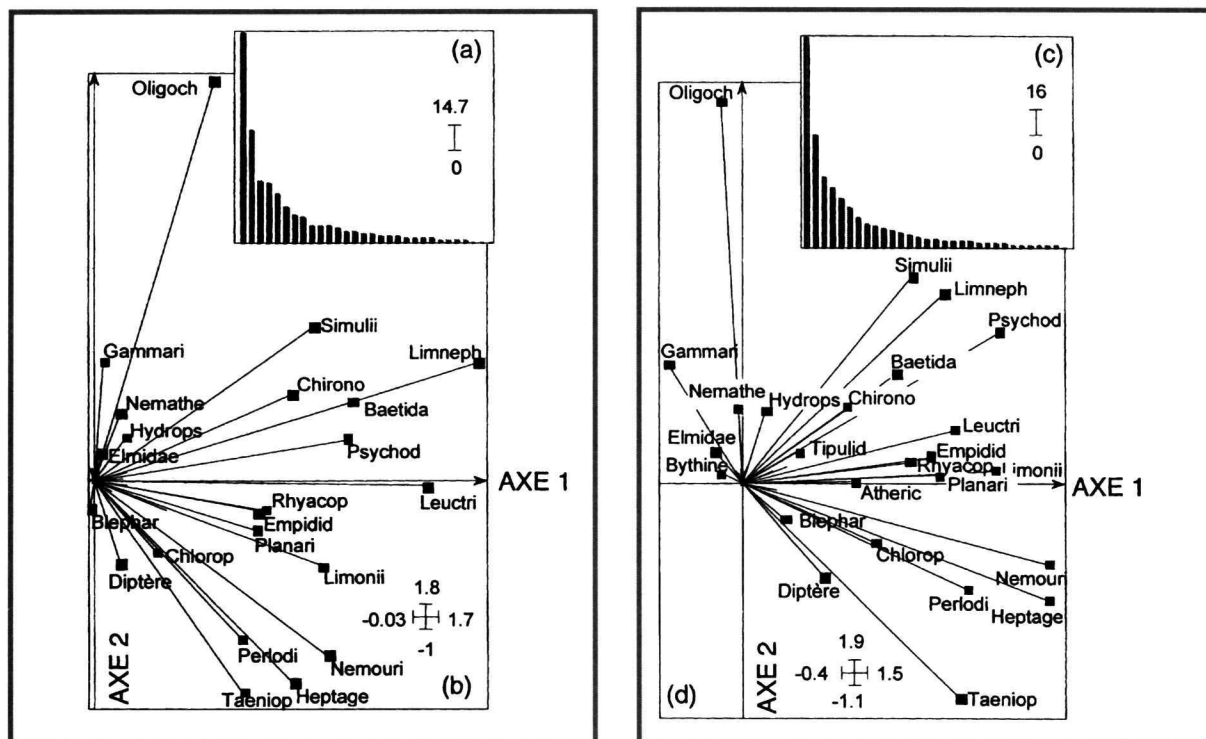


Figure 4 – (b) Position des taxons résultant d'une ACP de la matrice A1; (d) Position des taxons résultant d'une APC de la matrice A2.

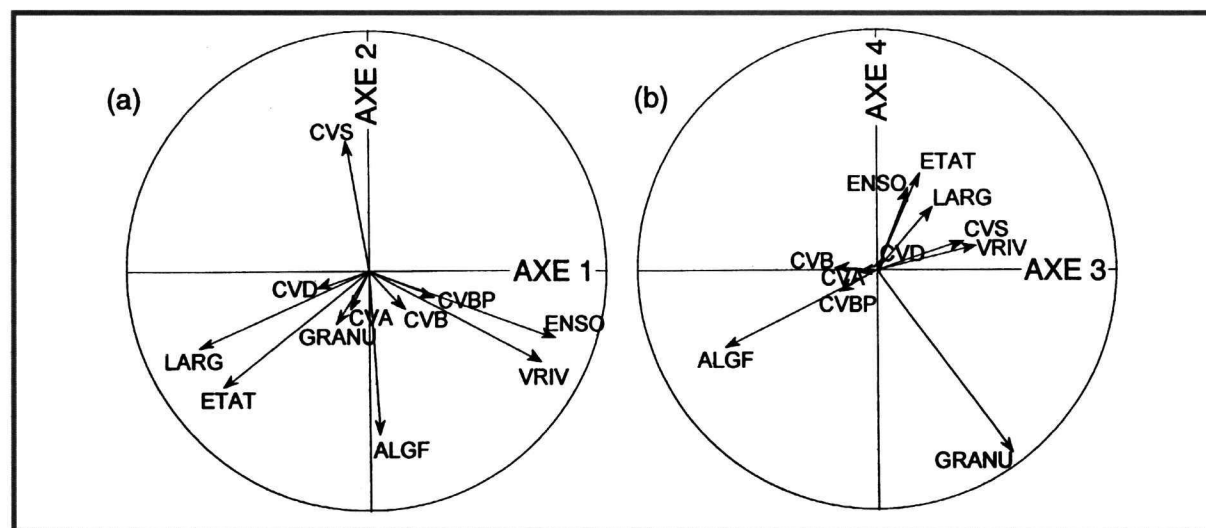


Figure 5 – Cercles des corrélations résultant d'une ACP normée des descripteurs de l'habitat local au niveau de la station (matrice B1). (a) Plan factoriel 1-2. (b) Plan factoriel 3-4. La longueur des flèches est proportionnelle à l'importance d'une variable et l'angle entre les flèches matérialise la corrélation entre les variables.

des taxons (cf. figure 4 (d)). Les résultats de ces trois analyses soulignent une bonne cohérence de structure, confirmée par les valeurs de corrélation, bien que le coefficient soit sensiblement plus faible entre A2 et A.

Les trois approches développées et leurs résultats similaires permettent de valider la méthode utilisée; l'IBGN (et

auparavant l'IBG) est **un outil fiable** par rapport aux objectifs recherchés, c'est-à-dire la caractérisation des stations au travers de la faune benthique. Richesse taxonomique et polluo-sensibilité des groupes indicateurs (paramètres principaux de l'IBGN) sont **cohérentes** pour distinguer les différentes structures.

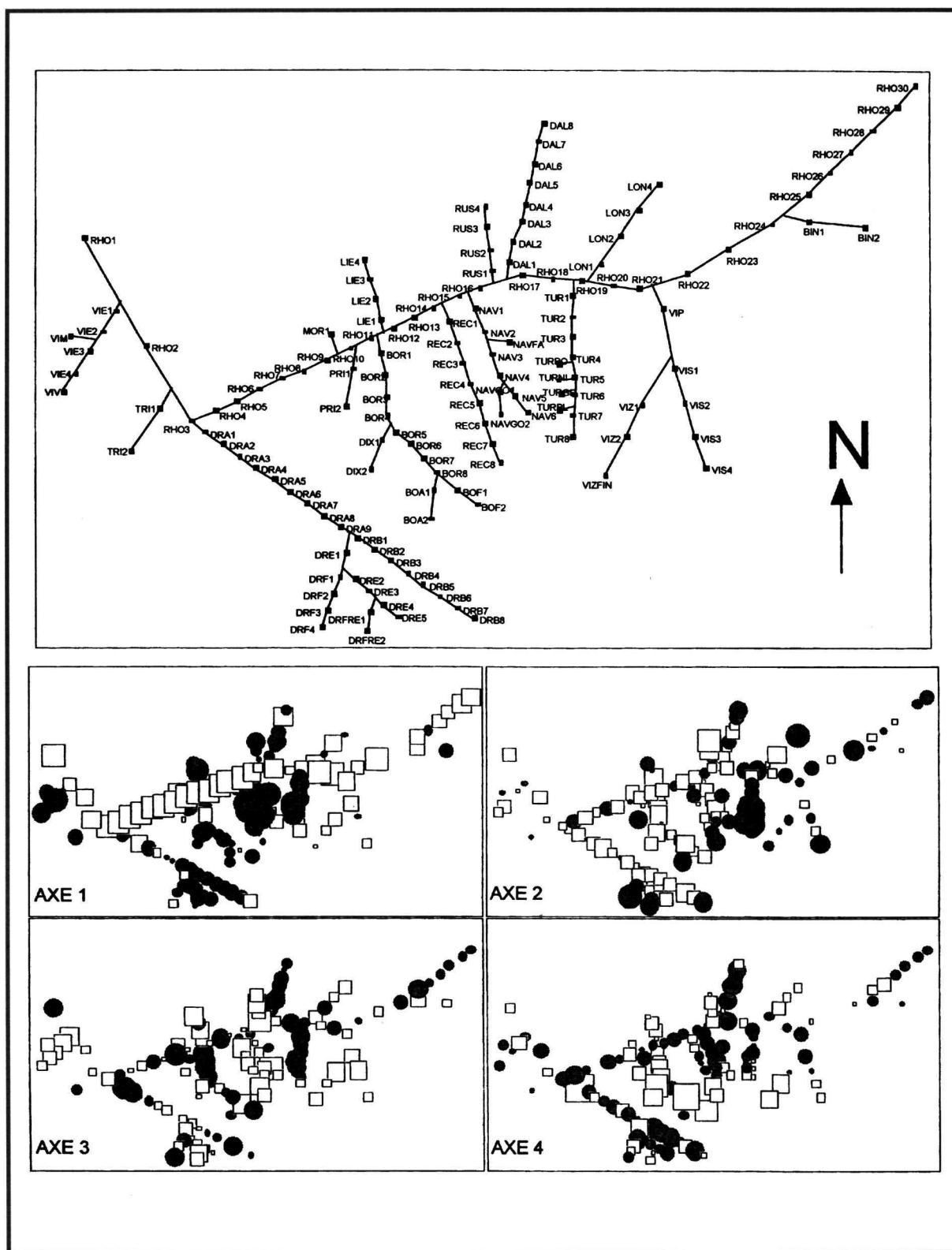


Figure 6 – Coordonnées des stations sur les quatre premiers axes factoriels de l'ACP de la matrice B1. Les cercles correspondent aux valeurs positives, les carrés aux valeurs négatives.

Question 2: l'abondance apporte-t-elle une information complémentaire?

La **deuxième question** concerne l'utilité du dénombrement de tous les individus (cette opération prolonge parfois beaucoup le temps consacré au tri). Le seul critère «présence-absence» ne serait-il pas suffisant?

L'abondance des organismes (**matrice A**) a été transformée en «présence-absence» (ACP sur 1220 échantillons). Presque tous les taxons montrent une position comparable sur le premier axe factoriel. La corrélation est également bonne sur l'ensemble des données. Seuls six taxons possèdent une certaine discordance: les Oligochètes, *Baetidae*, *Limnephilidae*, *Chironomidae*, *Leuctridae* et *Simuliidae*⁶.

Le critère «présence-absence» pourrait suffire, mais il serait trop réducteur et induirait un biais sensible dans les résultats. L'IBGN nécessite le dénombrement d'au moins 3 ou 10 individus selon les groupes indicateurs: ce comptage minimal est **indispensable**. Une fois ce nombre atteint, on pourrait se contenter du critère «présence». Toutefois, dans le cadre d'une interprétation non statistique (au regard de la composition faunistique), les proliférations d'organismes renseignent sur le degré d'eutrophisation du milieu. Le seul critère de présence serait une perte d'information. Un dénombrement par **classes d'abondance** est par contre envisageable (par exemple: 1-3, >3-10, >10-100, >100-500, >500-1000, >1000-2000, >2000-5000, >5000). Il pourrait se révéler être un bon compromis s'il permet de réduire le temps passé au tri des échantillons.

Hypothèse ou question 3: l'IBGN serait-il influencé par la saison?

Un troisième souhait était de savoir si la méthode induisait un effet «saison» (les prélèvements sont généralement effectués lors de deux saisons: en hiver et en automne). Les réponses sont amenées par les rapports de corrélation obtenus entre trois sources de variation (substrat, station et saison) sur la faune (par le biais de l'abon-

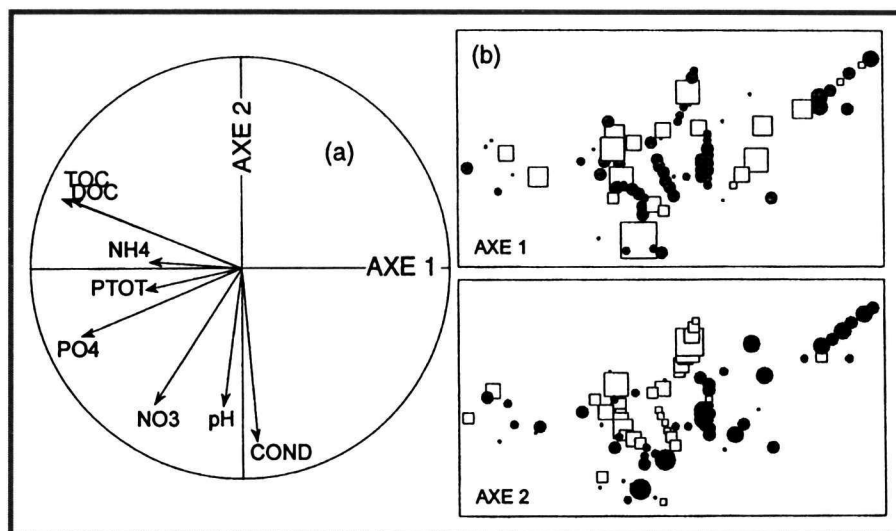


Figure 7 – Résultats d'une ACP effectuée sur les paramètres physiques et chimiques. (a) Cercles des corrélations. (b) Cartographie des coordonnées des stations sur les deux premiers axes factoriels. Les cercles correspondent aux valeurs positives, les carrés aux valeurs négatives

dance, de la richesse taxonomique et de la structure). Il apparaît clairement que la méthode distingue d'abord les stations, puis les substrats. L'effet de la date d'échantillonnage est **faiblement significatif**.

Hypothèse ou question 4: la biogénicité des substrats des rivières de montagne concorde-t-elle avec la capacité d'accueil potentielle donnée par la méthode?

Le **tableau 1** s'attache à mettre en vis-à-vis l'abondance, la richesse taxonomique, la diversité intra-microhabitat (véritable mesure de la bio-diversité, puisqu'elle prend en compte à la fois l'abondance et la diversité dans les substrats) et les différents types de substrats. La biogénicité⁷ théorique classe les substrats les plus au moins biogènes selon l'ordre suivant: 1-bryophytes, 2-litières, 3-cailloux/galets, 4-graviers, 5-vases, 6-sables, 7-dalles/ blocs, 8-algues⁸.

Sur les rivières valaisannes, au regard de l'**abondance**, les algues viennent en troisième position (entre litières et galets), alors que les graviers régressent au sixième rang (après les vases). La prolifération des *Chironomidae*, *Simuliidae*, *Limnephilidae* et Oligochètes dans les algues en est sans doute responsable⁹. Avec la **richesse taxonomique**, les algues sont en quatrième position et les autres substrats se classent dans l'ordre attendu. La **diversité intra-microhabitat** place les algues en sixième

⁶ A ce propos, pour que les Oligochètes, *Baetidae*, *Limnephilidae*, *Chironomidae* soient retenus en tant que groupe indicateur, l'IBGN prévoit un dénombrement d'au moins 10 individus au lieu des 3 habituels.

⁷ Capacité à accueillir la faune benthique.

⁸ Par rapport au tableau donné par la méthode, certains substrats n'apparaissent pas, car ils ne sont jamais rencontrés dans les rivières de montagnes, (p. ex. plantes aquatiques immergées ou émergentes).

⁹ Ce support a toutefois été moins prospecté que les autres puisqu'il est facultatif, au contraire des 8 premiers retenus par l'IBGN.

position, soit près des milieux inhospitaliers (sables et dalles). Dans le cadre d'une analyse faunistique, l'interprétation des résultats devrait donc aussi utiliser cette diversité intra-microhabitat.

Au regard de l'abondance et de la richesse taxonomique (nommée «diversité taxonomique» dans la méthode), la capacité d'accueil des différents substrats ne suit pas rigoureusement l'ordre de l'IBGN. Par contre, la diversité «intra-microhabitat» (qui serait la véritable mesure de la diversité) produit une ordination plus semblable à la biogénicité potentielle.

Analyse des données environnementales

Effet de la station

Ce traitement statistique repose sur la matrice B et B1. Les valeurs des corrélations mettent en évidence l'importance respective des variables. Des liens attendus apparaissent comme par exemple entre l'ensoleillement et la végétation riveraine (cf. figure 5).

• Recommandation 2: choix des variables

L'estimation de l'ensoleillement et la structure de la végétation riveraine sont des paramètres redondants. Une seule variable est suffisante: il faudrait préférer celle portant sur la végétation riveraine, observation qui se base sur des critères mieux définis.

D'autres variables sont mises en évidence:

- Sur l'axe 1, les stations sont distinguées en fonction de leur largeur et de l'état des substrats;
- L'axe 2 est lié à l'état des substrats et à l'abondance des algues filamenteuses¹⁰;
- Les axes 3 et 4 soulignent la granulométrie et les algues filamenteuses, sans qu'il y ait toutefois de corrélation entre ces 2 paramètres.

Projeté sur une carte du Valais (cf. figure 6), l'axe 1 fait apparaître le Rhône avec des carrés, ce qui signifie qu'il possède une grande largeur, pas de végétation riveraine et un mauvais état des substrats, par opposition aux stations avec des cercles (largeur plus étroite, végétation riveraine importante et bon état des substrats). Pour les autres axes, l'ordination des stations peut être interprétée comme suit: l'axe 2 traduit un gradient amont-aval; l'axe 3 le développement algal (cercles: fort développement algal; carrés: peu d'algues); l'axe 4 précise la granulométrie (cercles: granulométrie grossière; carrés: substrats ensablés ou envasés).

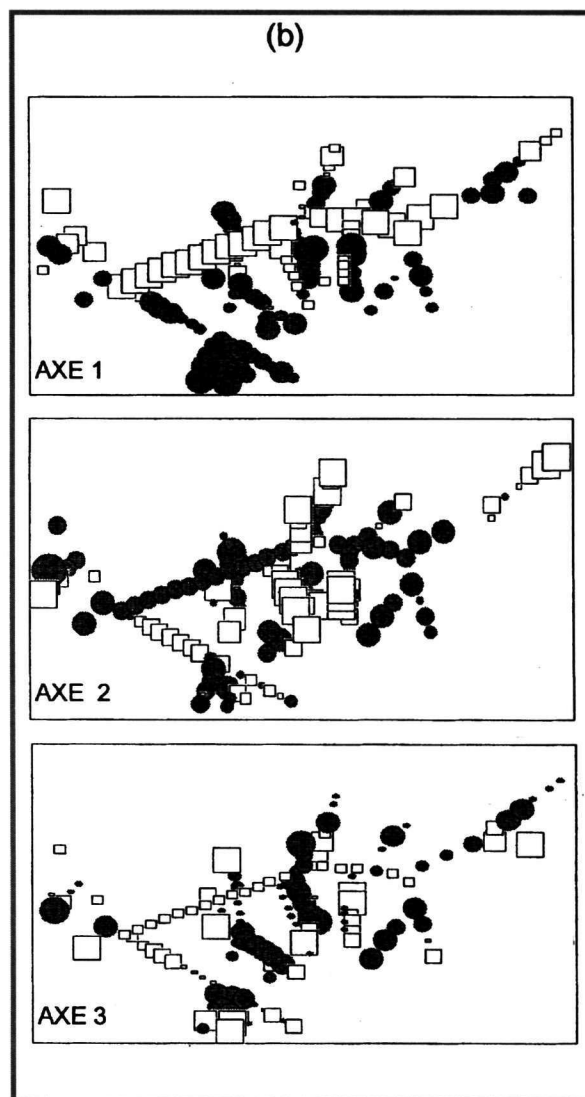


Figure 8 – Résultats d'une ACP normée effectuée sur les paramètres décrivant les impacts anthropiques montrant les coordonnées des stations sur les trois premiers axes factoriels.

Trois autres variables, l'altitude, la pente moyenne et la distance à la confluence, ont ensuite été intégrées. La pente corrélée négativement à la largeur: on trouve effectivement les pentes plus fortes là où les largeurs sont plus étroites. Par contre, la granulométrie n'est pas liée significativement à l'altitude. Elle est corrélée négativement à la pente, ce qui souligne une relation géomorphologique classique (blocs dans les secteurs de plus forte pente et présence de sédiments plus fins sur les pentes plus faibles). L'altitude n'influence donc pas forcément la pente et la granulométrie.

¹⁰ A noter que les «algues» sont opposées à «aucune couverture végétale», ce qui signifie une bonne corrélation.

Impacts anthropiques

Physico-chimie

L'axe 1 de l'ACP sur matrice E et E1 (cf. figure 7) traduit une pollution organique (DOC, TOC, orthophosphates). Il distingue par les cercles les stations peu polluées (Borgne, Rèche, Turtmäna, Rhône dans la vallée de Conches) de celles fortement polluées (carrés). L'axe 2 rend compte de la minéralisation à l'aide de la conductivité, du pH et des nitrates (cercles : minéralisation faible; carrés : forte minéralisation); il permet de différencier des rivières plus minéralisées, comme la Dala ou la Rèche.

TOC et DOC se superposent; ces deux paramètres sont donc très similaires.

• Recommandation 3 : choix des variables

TOC et DOC sont des paramètres redondants. L'analyse d'un seul d'entre eux suffit. Pour information, l'OEau (Ordonnance sur la protection des eaux du 28 oct. 1998) fixe pour les cours d'eau une exigence vis-à-vis du DOC (ou COD). Ce serait donc le paramètre à retenir.

Aménagements hydrauliques et rejets d'eaux usées ou de STEP

Une ACP normée a été effectuée sur la matrice des impacts anthropiques (matrice D). Les valeurs ont été attribuées selon une gradation de l'impact le plus faible vers l'impact le plus fort. Sur la figure 8, l'axe 1 est principalement lié aux variations du débit résiduel corrélé négativement avec le type de restitution amont; les cercles indiquent les stations soumises à une forte réduction de débit, sans restitution amont (Drance, Borgne, Navisence, Rhône dans la vallée de Conches) et les carrés celles ayant un débit moins modifié, soumises à des éclusées ou du fil de l'eau¹¹ (Rhône principalement). L'axe 2 rend compte de l'endiguement des cours d'eau et de la périodicité des vidanges par des cercles (les stations les plus touchées se situent sur le Rhône et les Viège). Les stations «indemnes» (carrés) se localisent sur la Turtmäna et la Rèche. L'axe 3 met en évidence les stations perturbées par des rejets d'eaux usées. Les cercles désignent les stations les plus touchées (Viège de Zermatt, Navisence, Borgne) et les carrés, celles sans rejet ou peu polluées par les rejets de STEP (Turtmäna, Rhône).

Données environnementales

Il est connu que trois variables conditionnent la capacité biogénique vis-à-vis de la faune benthique : l'état des substrats (colmatage en particulier), l'abondance des algues filamenteuses et la granulométrie.

L'effet des différents types d'impact anthropique a été testé sur ces variables à l'aide de régressions simples et multiples. Plusieurs conclusions peuvent être tirées. L'état des substrats est expliqué à 20 % par les restitutions amont, signifiant qu'un colmatage important est lié à un régime d'éclusées ou au fil de l'eau. L'état des substrats est lié de façon identique aux corrections, car un colmatage important se retrouve lorsque le lit et les berges sont aménagés. Par contre, la relation entre l'état des substrats et le débit résiduel ne permet pas de tirer de conclusion claire. Pour cela, il aurait fallu sans doute évaluer le degré de colmatage de façon plus précise. L'abondance des algues filamenteuses augmente en présence de rejets d'eaux usées. La granulométrie des substrats n'est pas influencée par les variables testées.

Une analyse co-inertie entre les variables des impacts anthropiques et l'habitat local indique que les impacts anthropiques les plus pénalisants sont ceux liés aux aménagements du lit et au type de restitution. Les tronçons les plus larges sont soumis à un plus grand nombre d'atteintes. De plus, le cumul des impacts anthropiques se répercute sur la qualité des substrats en induisant en particulier un plus grand colmatage. Rejets d'eaux usées et abondance des algues filamenteuses sont en relation.

Toutes ces conclusions doivent toutefois être prises avec précaution : certaines variables ont pu être correctement quantifiées (par exemple l'impact des rejets ou le débit résiduel), alors que d'autres ont été estimées de façon plus empiriques (purges et restitution).

• Recommandation 4 : quantification des variables

La recommandation 1 proposait un codage quantitatif des variables pour éviter de traiter des données qualitatives. Toutefois, certains cas de figure complexes gagnent à être simplifiés. Pour éviter les erreurs de quantification, il est parfois préférable d'utiliser un critère de type «oui/non».

Relation Faune et Environnement

Les paramètres les plus pertinents de la relation entre l'environnement et la faune ont été recherchés à travers une analyse de co-inertie, afin de connaître, en partie du moins, les facteurs qui agissent sur la répartition de la faune benthique.

La figure 9 met en évidence une bonne correspondance entre les coordonnées des stations issues d'une combinaison des paramètres environnementaux et celles issues d'une combinaison des données faunistiques.

L'axe 1 oppose des stations soumises à un aménagement hydraulique, présentant une plus grande largeur et un colmatage du substrat (carrés) à des stations n'ayant

¹¹ Le régime par éclusée désigne une production hydroélectrique, qui grâce à une capacité de stockage, peut être modulée en fonction de la demande et donc induire des variations importantes des débits restitués dans la rivière; à l'inverse, les installations au fil de l'eau turbinent uniquement le débit capté, car elles ne disposent pas de cette possibilité de stockage (régime plus proche du naturel).

pas ces caractéristiques, mais disposant d'une végétation riveraine et de bryophytes (cercles). L'axe 2 distingue des stations présentant un fort développement algal en liaison avec des rejets d'eaux usées ou épurées (carrés) à des stations aux substrats sans couverture végétale (cercles).

Ces tendances environnementales s'accompagnent de modifications faunistiques. Une rivière naturelle (ou peu aménagée) possède une faune plus diversifiée. À l'inverse, les stations aménagées, soumises à des éclusées, ayant des substrats colmatés et de plus grande largeur, voient leur faune s'appauvrir. Leur peuplement est dominée par les *Limnephilidae*, les *Capniidae*, les *Gammaridae* et les *Ancylidae*. Une abondance d'algues filamenteuses, liée à l'existence de rejets, s'accompagne également d'un appauvrissement de la faune, cette fois-ci dominée par les *Oligochètes* et les *Tipulidae*.

Les substrats à faible couverture végétale abritent des familles plutôt exigeantes vis-à-vis de la qualité de l'eau, comme les *Chloroperlidae*, *Perlodidae*, *Taeniopterygidae*, *Leuctridae* et *Heptageniidae*. À l'opposé, les *Baetidae*, *Simuliidae*, *Chironomidae* et *Psychodidae* sont principalement associés aux bryophytes et aux conditions riveraines (végétation et donc ensoleillement).

Cette analyse permet pour certaines familles de préciser quelques éléments et de répondre partiellement aux hypothèses de départ:

Hypothèse 5: *Perlidae*: les purges seraient responsables de leur raréfaction. Cette famille est malheureusement trop rarement rencontrée pour pouvoir tirer une

quelconque conclusion à son sujet. Seule une étude de toutes les données historiques (anciennes distributions) et la confrontation avec les changements intervenus permettrait d'apporter quelques éléments de réponse.

Hypothèse 6: *Chloroperlidae*: pente et végétation riveraine pourraient influencer leur distribution.

Hypothèse 7: *Perlodidae*: altération de la qualité des eaux et réduction des débits seraient responsables de leur régression.

Hypothèse 8: *Taeniopterygidae*: seraient plus abondants en automne du fait de leur émergence printanière. Ces familles sont essentiellement recensées en automne et voient leurs effectifs diminuer avec les aménagements hydrauliques et les rejets d'eaux usées ou épurées, mais insuffisamment dilués.

Hypothèse 9: *Capniidae*: seraient corrélés avec la largeur de la rivière. Ils sont effectivement rencontrés dans les cours d'eau de plus grande largeur; ils semblent moins affectés par les aménagements hydrauliques et les rejets.

Hypothèse 10: *Nemouridae*: se développeraient mieux dans les litières. Ces Plécoptères fréquentent principalement les litières et les bryophytes en l'absence d'aménagements hydrauliques.

Hypothèse 11: *Heptageniidae*: coloniseraient de préférence les rivières plus pentues. Leur distribution est calquée sur celle des Plécoptères, avec une sensibilité marquée

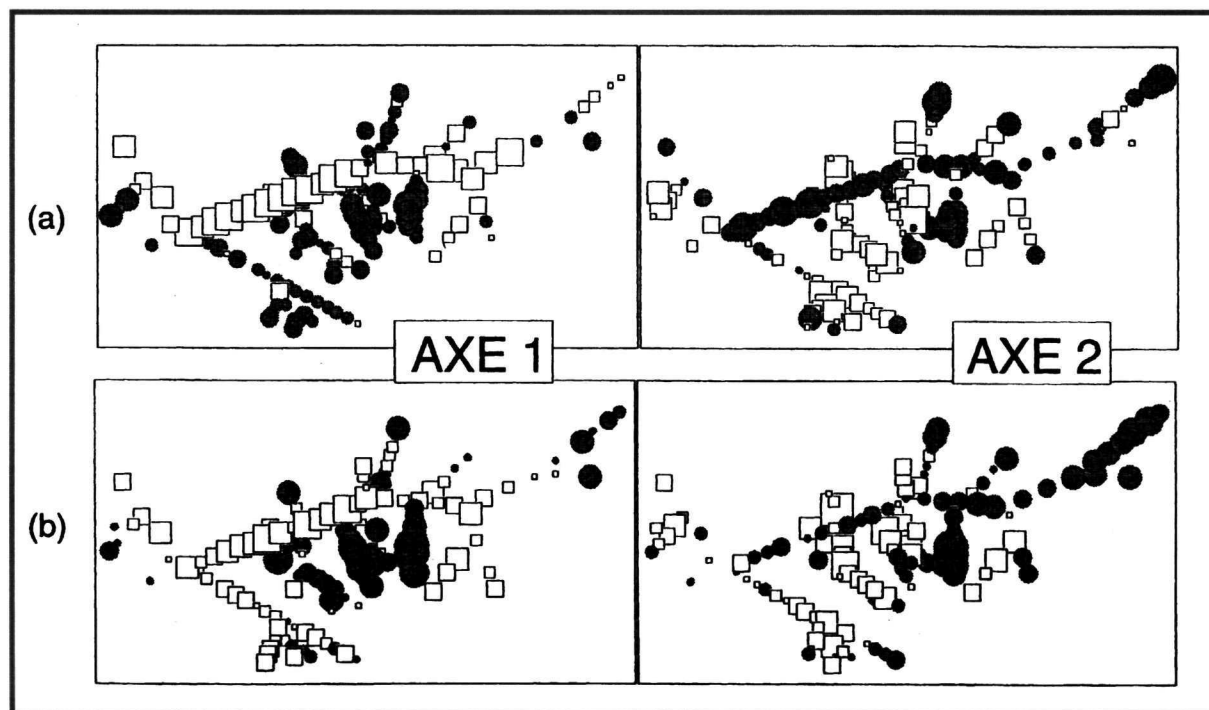


Figure 9 – Résultats d'une analyse de co-inertie entre données biologique et environnementales. (a) Superposition des coordonnées factorielles issues des données environnementales sur la carte géographique des stations. (b) Idem pour les données faunistiques.

pour les impacts anthropiques de tous types (aménagements hydrauliques ou rejets). La pente ne semble pas avoir d'incidence.

Hypothèse 12: *Rhyacophilidae*: reflèteraient l'abondance du peuplement benthique. Ces prédateurs sont bien représentés. Leur position sur les graphes suggère que leur abondance soit liée à la richesse (diversité) des peuplements. La corrélation est effectivement significative.

Hypothèse 13: *Limnephilidae*: prolifération induite par le marnage; indifférents au colmatage. Ils semblent en effet peu sensibles aux aménagements hydrauliques et au colmatage et constituent donc une famille plus résistante aux impacts anthropiques. Toutefois, les données environnementales ne sont pas toujours suffisantes pour expliquer la composition faunistique locale de certains secteurs. Des tests «univariés» permettraient d'accéder à une modélisation des réponses par rapport aux taxons choisis.

Hypothèse 14: la diversité taxonomique augmente en automne. Elle baisse ensuite en février ou mars, certains individus ayant sans doute déjà émergé ou n'étant pas encore suffisamment développés). Les prélèvements d'automne étant les plus riches, cette saison doit être conservée en priorité.

CONCLUSIONS

L'ensemble des analyses montre une certaine cohérence des données malgré les nombres différents de relevés pris en compte.

L'analyse faunistique a pu mettre en évidence la pertinence de l'IBGN. Cette méthode est un **outil fiable** par rapport aux objectifs qui cherchent à caractériser et à distinguer les stations au travers de la faune benthique. Richesse taxonomique et polluo-sensibilité des groupes indicateurs (paramètres principaux de l'IBGN) sont cohérentes pour distinguer les différentes structures.

Le dénombrement systématique des individus, travail relativement long, pourrait être remplacé par une estimation par classes d'abondance. Le seul critère «présence-absence» est insuffisant et induirait un biais sensible dans les résultats.

L'analyse des données environnementales permet de séparer les stations fortement anthropisées, des stations moins touchées par la pollution organique ou les perturbations hydrauliques.

Plusieurs paramètres environnementaux ou décrivant les impacts anthropiques ont été codés à l'aide de valeurs qualitatives ou semi-quantitatives. Ils sont difficiles à utiliser lors d'un traitement statistique ou trop imprécis. Trois variables environnementales devraient être quantifiées de façon plus précise: la granulométrie, l'état des substrats (degré de colmatage par exemple) et la couverture végétale (pourcentage de recouvrement). Deux variables d'impacts anthropiques pourraient recevoir des valeurs quanti-

tatives ou semi-quantitatives: l'aménagement de la rivière (en degré de correction) et le type de restitution.

Certains paramètres sont redondants, comme l'ensoulement et la végétation riveraine, le TOC et le DOC. Il serait souhaitable de conserver la caractérisation de **la végétation riveraine et le DOC**.

La confrontation des données faunistiques et environnementales montre que les macro-invertébrés benthiques répondent à trois grandes contraintes: aux aménagements, aux rejets d'eaux (usées ou épurées, mais insuffisamment diluées dans le milieu récepteur) et au développement de la couverture végétale sur les substrats. La diversité taxonomique diminue avec les impacts anthropiques (quels qu'ils soient). Les vidanges et le débit résiduel, bien qu'ils aient un effet, ne semblent pas jouer un rôle prépondérant sur les communautés benthiques. Il faut toutefois rappeler que la plupart des stations étudiées sont soumises à un cumul d'impacts (d'où la difficulté de pouvoir identifier les effets), que certaines variables n'ont pas été véritablement quantifiées (en particulier les purges, le colmatage) et qu'il manque des stations de référence dans le jeu de données. Mais il est aussi probable que les vidanges et le débit résiduel se traduisent plutôt sur l'abondance que sur la diversité.

Quelques discordances entre données biologiques et environnementales suggèrent que d'autres paramètres biotiques et abiotiques, non pris en compte, interviennent dans la structuration des communautés (influence des vitesses d'écoulement, géologie du bassin versant, couverture du bassin versant, par exemple). Pour cette étude statistique, peu de variables caractérisaient les paramètres hydrauliques et les bassins versants.

Le mode d'évaluation de certaines variables, par exemple l'effet des purges, le colmatage, devrait s'appuyer sur une mesure plus fiable que la simple «estimation».

Les prélèvements d'automne s'avérant les plus riches (plus grande diversité taxonomique), cette campagne devrait être privilégiée pour estimer de façon plus exactes les potentialités des stations.

Cette première approche statistique, orientée vers une étude multivariée, ne répond pas à toutes les réponses de départ, mais a déjà l'avantage de préciser de nombreux points et de confirmer plusieurs intuitions. Elle permet de classer des situations.

D'autres approches auraient pu être menées, comme effectuer une analyse des niches écologiques, afin de distinguer la typologie des familles, ou voir si la typologie stationnelle est conservée dans tous les types de substrats (tests en univariés). L'élaboration d'un modèle prédictif pourrait être envisagé, mais nécessite des données complémentaires par manque de situations de référence.

Les futures études qui seront menées dans le Canton devront privilégier:

- celles portant sur des cours d'eau soumis à moins d'atteintes;
- certains types d'impacts, pour ne pas avoir un cumul d'atteintes et pour obtenir un échantillon représen-

tif pour quelques cas (p. ex. une seule station possédait un lit aménagé).

Ces nouvelles stations devront être proches d'un état naturel ou du moins présenter le moins d'altérations possibles afin de pouvoir mieux cerner chacune d'entre elles. Les relevés de terrain seront complétés ou modifiés selon les recommandations qui découlent de ce traitement statistique.

Et depuis?

A titre d'information, il était intéressant que le lecteur puisse savoir quelles ont été les orientations du canton en matière d'études. Plusieurs rivières ont été prospectées :

- 1998-1999: la Drance de Bagnes
- 2000: la Morgue et l'un de ses affluents, la Nétage
- 2001: la Vièze du Val d'Ille et son principal affluent, la Vièze de Morgins

Les relevés de terrain ont intégré les recommandations qui découlaient de l'étude statistique.

Aux mesures de débit, analyses physico-chimiques et biologiques sont venues s'ajouter des analyses bactériologiques et l'étude des diatomées. La bactériologie en révélant des contaminations d'origine fécale permet de mettre en évidence des apports d'eaux usées non soupçonnés. Les diatomées (algues unicellulaires qui se développent en une couverture brune bien visible à la surface des substrats immergés) intègrent la qualité physico-chimique des eaux sur environ trois semaines (cycle de développement). L'étude de la composition floristique établit un diagnostic de l'état de pollution de la station, qui n'est pas toujours mesuré avec des analyses physico-chimiques ponctuelles.

Ainsi, l'interprétation des résultats est devenue plus complète et plus aisées. Des atteintes, le plus souvent liées à une dégradation de la qualité des eaux par des apports polluants (eaux usées non raccordées par exemple), ont été mises en évidence. L'effet de la crue d'octobre 2000 sur la faune benthique a pu être en partie mesuré.

Les deux derniers cours d'eau passé « sous la loupe » (Morgue, Vièze) subissent peu d'altération. Les IBGN et listes faunistiques complètent les données déjà acquises et plusieurs stations peuvent servir de référence. Relevons en particulier l'obtention d'un IBGN de 16/20 (maximum encore jamais atteint en Valais !) sur la Vièze en amont de Morgins, station qui établit un référentiel pour les cours d'eau non glaciaires du canton. De quoi réjouir l'hydrobiologiste qui fait souvent grise mine à la vue des rivières valaisannes, trop souvent corrigées et polluées. Mais l'espoir d'amélioration se concrétise avec les efforts entrepris dans l'assainissement et la revitalisation.

BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR. 1992. Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). *Norme française (NF) T90-350*. 9 p.
- BERNARD, R., R., PERRAUDIN KALBERMATTER & M. BERNARD. 1994. Observation de la qualité des eaux de surface du Canton du Valais. Le Rhône et neuf de ses affluents. *Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., campagne 1993*. p. 197-240
- AUBERT, J. 1984. Les plécoptères du Valais. *Bull. Murithienne* 102: 167-183.
- CORDONIER A., F., STRAUB. 2000. *Observation de la qualité des eaux de surface. Etude pilote : Diatomées sur la Drance de Bagnes*. Service de la Protection de l'Environnement, Canton du Valais. Rapport du Bureau ETEC non publié. 13 pp. + annexes
- DOLEDEC, S. & D. Chessel. 1994. Co-inertia analysis : an alternative method for studying species-environment relationships. *Freshwater Biology* 31 : 277-293.
- DOLEDEC, S. 2000. *Traitement statistique des données hydrobiologiques du canton du Valais*. Rapport d'expertise. Service de la Protection de l'Environnement, Canton du Valais. 51 p.
- ETEC. 1991. *Etude hydrobiologique de 6 cours d'eau valaisans. Rapport de synthèse*. Service de la Protection de l'Environnement de l'Etat du Valais. 43 pp. + annexes
- 1992. *Etude hydrobiologique du Rhône. Rapport de synthèse*. Service de la Protection de l'Environnement de l'Etat du Valais. 59 pp. + annexes
- 1994-2002. *Observation de la qualité des eaux de surface du canton du Valais. Rapport de synthèse*. Service de la Protection de l'Environnement de l'Etat du Valais
- PRONAT & GEOPLAN. 1996-2001. *Hydrologische und hydrobiologische Studie*. Dienststelle für Umweltschutz des Kanton Wallis
- THIOULOUSE, J., J. DEVILLERS, D. CHESSEL & Y. AUDA. 1991. Graphical techniques for multidimensional data analysis. In *Applied Multivariate Analysis in SAR and Environmental Studies*. DEVILLERS J. & KARCHER W. (EDS), Kluwer Academic Publishers, 153-205.